



(19) BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

(12) **Patentschrift**
(10) **DE 199 08 936 C 2**

(51) Int. Cl. 7:
B 29 C 45/73
B 29 C 45/78
B 29 C 45/37
B 29 C 45/27
// B29L 11:00

DE 199 08 936 C 2

(21) Aktenzeichen: 199 08 936.1-16
(22) Anmeldetag: 2. 3. 1999
(23) Offenlegungstag: 7. 9. 2000
(25) Veröffentlichungstag der Patenterteilung: 31. 10. 2002

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

(23) Patentinhaber:

Feinwerktechnik Wetzlar GmbH, 35578 Wetzlar, DE

(24) Vertreter:

Stamer, H., Dipl.-Phys., Pat.-Anw., 35579 Wetzlar

(22) Erfinder:

Zosel, Otto, 35578 Wetzlar, DE; Scheerer, Friedrich, 35606 Solms, DE

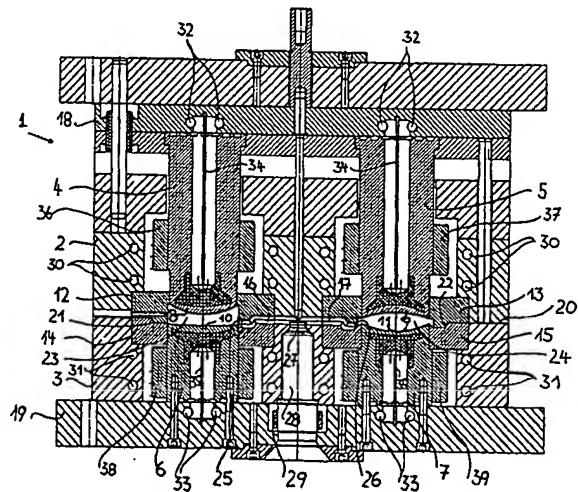
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 37 28 325 C2
DE 195 21 550 A1
DE 22 30 404 A

DE-Z: ZEPPENFELD, R.: "Neue Möglichkeiten der Werkzeugtemperierung durch Mehrkanaltemperierung"
In: Kunststoffberater, 1996, Heft 11, S. 16-19;
HERBERT, R.T., "Opto-mechanical details in injection-molded assemblies" In: Proceedings SPIE - The International Society of Optical Engineering, Vol. 2600, 23.-24.10.1995, pp 34-41;

(54) Spritzgießvorrichtung und Verfahren zur Herstellung präzisionoptischer und präzisionsmechanischer Teile aus einem thermoplastischen Kunststoff

(55) Spritzgießvorrichtung zur Herstellung präzisionoptischer und präzisionsmechanischer Teile aus einem thermoplastischen Kunststoff in einer Spritzgießform (1) mit einem voneinander trennbaren Formoberteil (2) und Formunterteil (3) zur Begrenzung eines Formnestes (23; 24), sowie einer eine plastifizierbare Spritzgießmasse in das Formnest (23; 24) leitenden Anbindung (25; 26) und einem mit der Anbindung (25; 26) verbundenen Angußkanal (16; 17) für die unter Druck stehende Spritzgießmasse, wobei das Temperaturprofil im Angußkanal (16; 17) regelbar ist und die Spritzgießvorrichtung ein Temperier-System zur Versorgung mehrerer Temperierkanäle in der Spritzgießvorrichtung mit unabhängig voneinander temperatur-geregelten und/oder -gesteuerten Temperiermitteln aufweist, dadurch gekennzeichnet, daß in das Formoberteil (2) und das Formunterteil (3) Formoberstempel (4; 5) und Formunterstempel (6; 7) zur oberen und unteren Begrenzung des Formnestes (23; 24) eingesetzt sind, wobei die Formober- und Formunterstempel (4; 5; 6; 7) nur mit ihrem Kopfende (8; 9; 10; 11) und Fußende in form- und wärmeschlüssigem Kontakt mit dem Formoberteil (2) und Formunterteil (3) stehen und in den Formober- und Formunterstempeln (4; 5; 6; 7) jeweils ein Temperierkanal (32; 33) zur Temperierung des Kopfendes (8; 9; 10; 11) so angeordnet ist, daß der Zu- und Abfluß der Temperierkanäle (32; 33) in Richtung der Längsachse der Formober- und Formunterstempel (4; 5; 6; 7) verläuft und die Umkehr der Fließrichtung des Temperiermittels am Kopfende (8; 9; 10; 11) und möglichst nahe zum Formnest (23; 24) erfolgt.



DE 199 08 936 C 2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Spritzgießvorrichtung und ein Verfahren zur Herstellung präzisionsoptischer und präzisionsmechanischer Teile aus einem thermoplastischen Kunststoff mit den im Oberbegriff der Ansprüche 1 und 21 genannten Merkmalen.

[0002] Aus der DE-Zeitschrift: Kunststoffberater 1996, Heft 11, Seite 16–19, ist es bekannt, bei Spritzgießvorrichtungen eine Mehrzahl von partiell getrennten Temperier-Kreisläufen vorzusehen. Dabei sollen die Kühlkanäle im Formwerkzeug so angeordnet werden, daß sie dem lokalen Wärmeeintrag durch den Spritzling entsprechen. Insbesondere in Randzonen und in stegartigen Bereichen mit größerer Materialanhäufung soll durch größere Kühlflächen oder größere Temperaturdifferenzen die Wärmeabführung erhöht werden. Auf diese Weise sollen auch bei größeren Spritzlingen mit unterschiedlicher Massenverteilung schnelle Zykluszeiten für die Entformung erreicht werden.

[0003] Aus der Druckschrift DE 195 21 550 A1 ist eine Spritzgießform bekannt, die aus einem Werkzeug mit Blockteilen und individuellen Formeinsätzen besteht. Sowohl die Werkzeug-Blockteile als auch die Formeinsätze sind getrennt voneinander temperierbar, wobei die Formeinsätze thermisch getrennt von den Werkzeug-Blockteilen an diesen befestigt sind.

[0004] Das plastifizierbare Material wird über Zuführkanäle in den Werkzeug-Blockteilen in die Formeinsätze gedrückt, so daß die Temperierung der Werkzeug-Blockteile allein der Erhaltung der Einspritztemperatur des plastifizierbaren Materials dient. Die Formeinsätze haben eine wesentlich geringere Wärmekapazität als die Werkzeug-Blockteile und können durch Umschaltung des in sie geleiteten Temperiermittels schnell aufgeheizt und abgekühlt werden, wodurch der Entform-Zyklus beschleunigt werden kann.

[0005] Aus der Druckschrift DE 37 28 325 C2 ist eine Spritzgießform für topfförmige Teile bekannt. Die Spritzgießform weist eine zylindrischen Kern auf, der von einem Kühlmittel durchströmt wird. Dazu ist eine Bohrung im Kern vorgesehen, die durch eine am Kernboden offene Trennwand in zwei Kanäle aufgeteilt wird, wodurch die gesamte Kernwandung temperiert wird. Die Wände des Spritzlings werden dabei in Fließrichtung des Kühlmittels mit unterschiedlichen Temperaturgradienten umströmt.

[0006] Aus der Druckschrift DE 22 30 404 A ist eine Spritzgießform bekannt, bei der die Zuleitungen und das Formnest mit Tetrafluorkohlenstoff oder einem ähnlichen Kunststoff beschichtet sind. Dadurch soll der Strömungswiderstand beim Einspritzen vermindert werden, so daß auch treibmittelhaltige Kunststoffe unter Vermeidung von Entgasungsscheinungen mit hoher Spritzgeschwindigkeit und hohem Druck eingespritzt werden können.

[0007] Eine zusammenfassende Übersicht über den grundsätzlichen Aufbau einer Spritzgießvorrichtung für präzisionsoptische Teile aus einem thermoplastischen Kunststoff und die bei deren Herstellung zu beachtenden Verfahrensparameter, sowie der für die Spritzgießtechnik geeigneten optischen Materialien ist dem Aufsatz "Opto-mechanical details in injectionmolded assemblies, Raymond T. Herbert, Proceedings SPIE – The International Society of Optical Engineering, Vol. 2600, 23.–24. Oct. 1995, pp. 34–41, zu entnehmen. Wichtig bei der Herstellung ist die erzeugte optische Qualität der Oberflächen und die optische Homogenität im spritzgegossenen Kunststoffmaterial.

[0008] Präzisionsoptische Teile sind dadurch definiert, daß bei interferometrischer Prüfung der Oberfläche die maximale Abweichung der Oberflächengeometrie vom Sollwert ein Streifen bis zu einem freien Durchmesser von $D \leq$

50 mm beträgt.

[0009] Von präzisionsmechanischen Teilen spricht man dann, wenn eine Oberflächenrauhigkeit im nm-Bereich, Maßtoleranzen im μm -Bereich, eine hohe Spannungs-Rißkorrosionsfestigkeit und Maßhaltigkeit der Spritzgießlinge verlangt werden.

[0010] Die Maßhaltigkeit der erzielten Qualität ist über einen langen Zeitraum zu fordern. Die Maßhaltigkeit ist direkt abhängig von der Größe der Eigenspannung und der Fließorientierung im Spritzgießling. Eigenspannungen entstehen durch die üblicherweise vorhandene große Differenz zwischen der Temperatur der plastifizierten Spritzgießmasse und der Temperatur des Formnestes beim Herstellprozeß.

[0011] Für die Massestemperatur (MT) der plastifizierten Spritzgießmasse und die Werkzeugtemperatur (WT) der jeweiligen Formnester gilt im allgemeinen bei Polymethylmethacrylat (PMMA) MT = 240 bis 270°C mit WT = 40 bis 90°C, bei Polykarbonat (PC) MT = 280 bis 330°C mit WT = 60 bis 120°C und bei Polyoximethylen (POM) MT = 180 bis 210°C mit WT = 30 bis 60°C.

[0012] Durch diese schockartige Abkühlung der Spritzgießmasse beim Eintritt in das Formnest entsteht an der Grenzfläche Spritzgießmasse/Formnestwand eine sog. Spritzhaut, die sehr starke mechanische Spannungen aufweist. Durch den vorhandenen Temperaturgradienten wird ein Spannungsgradient erzeugt. Diese bei der Erstarrungs temperatur "eingefrorenen" mechanischen Spannungen können in den amorphen, thermoplastischen Kunststoffen polarisationsoptisch dargestellt und über den zugehörigen Gangunterschied (Phasendifferenz) quantitativ angegeben werden.

[0013] Die Spritzhaut hat selbst bei einer sorgfältigen Verarbeitung meistens eine Dicke von ca. 0,1 mm. Bei einem üblichen Gangunterschied von etwa $\Gamma = 850$ nm ergibt sich eine mechanische Spannung von mindestens $\delta = 12 \text{ N/mm}^2$.

[0014] Solche mechanischen Spannungszustände im Spritzgießling sind Ursache für die unzureichende Langzeit stabilität des Spritzgießlings. Die durch die mechanischen Spannungszustände erzwungenen inneren Fließvorgänge gleichen im Laufe der Zeit die Spannungszustände insgesamt oder in einzelnen Bereichen (Relaxation) aus und erzeugen dabei eine z. T. stark deformierte Geometrie der Spritzgießlinge. Die Relaxation tritt bereits bei Raumtemperatur ein, kann aber durch höhere Temperaturen beschleunigt werden. So kann z. B. eine spritzgegossene Linse mit anfänglich präzisionsoptischer Qualität auf diese Weise völlig unbrauchbar werden.

[0015] Die verbleibenden mechanischen Spannungszustände in einem präzisionsoptischen Spritzgießling führen zu dem optischen Verhalten eines quasi einachsigen Kristalls, d. h. die optischen Konstanten, wie z. B. der Brechungsindex, werden abhängig von dem jeweiligen mechanischen Spannungszustand. Das ist bei präzisionsoptischen Teilen nicht tragbar.

[0016] Auch das bisher immer noch nicht befriedigend gelöste Problem der dauerhaften Beschichtung von Spritzgießlingen mit optischen und mechanischen Funktions schichten ist mit auf das Vorhandensein der Spritzhaut zurückzuführen.

[0017] Bei einem präzisionsmechanischen Spritzgießling erzeugen die eingefrorenen mechanischen Spannungen eine Minderung der mechanischen Belastbarkeit. In Verbindung mit organischen Lösemitteln, die z. B. in Klebstoffen enthalten sind, und unter dem Einfluß der Luftfeuchte führt das zu der sogenannten Spannungsrißkorrosion und somit zum Versagen der Bauteile. Weiterhin ist die Maßhaltigkeit des Spritzgießlings im Langzeitverhalten nicht gegeben, was für präzisionsmechanische Teile ebenfalls nicht akzeptabel

ist.

[0018] Mit dem Herstellvorgang der Spritzgießtechnik sind zwangsläufig auch molekulare Veränderungen in der plastifizierten Spritzgießmasse verbunden, die sorgfältig analysiert werden müssen. Die plastifizierte Spritzgießmasse besteht aus einem polymeren Material, d. h. die einzelnen "Moleküle" sind Molekülketten, aufgebaut aus 25000 bis 75000 Einzelmolekülen, je nach Material und Typ. Fließt nun diese plastifizierte, amorphe Masse von dem Spritzgießzyylinder über den Angußkanal und die Anbindung in das Formnest, so zeigt die Masse ein "nicht-Newton'sches Verhalten", d. h. die Viskosität der Schmelze hängt von der Größe der Scher- und Verformungsgeschwindigkeit ab. Dieses Verhalten wird als Strukturviskosität bezeichnet. Damit ist die Eigenart der Schmelze gemeint, mit zunehmender Schergeschwindigkeit bessere Fließeigenschaften zu zeigen. Steigende Schergeschwindigkeit erzeugt eine fallende Viskosität und damit bessere Fließeigenschaft und umgekehrt. Zusätzlich ist die Viskosität von der Temperatur abhängig. Dabei gilt, daß steigende Temperatur ebenfalls eine fallende Viskosität und damit bessere Fließeigenschaft erzeugt.

[0019] Ein weiterer Effekt ist, daß sich die langen Molekülketten in Fließrichtung orientieren, und zwar unabhängig davon, ob ein Temperaturgradient zwischen fließender Masse und Angußkanalwand vorhanden ist oder nicht. Die damit verbundene Ordnung im Molekülgefüge äußert sich wiederum in einem quasi kristallinen Verhalten des Spritzgießlings. Auf dem Weg vom Spritzgießzyylinder über den Angußkanal und die Anbindung in das Formnest hinein können aber auch Verwirbelungen durch plötzliche Umlenkungen/Richtungsänderungen und stufige Änderungen des Angußkanal-, bzw. Anbindungsquerschnittes entstehen. Der auf einem geraden Weg des Angußkanals entstandene definierte Ordnungszustand wird dadurch teilweise geändert, so daß ein undefinierter Ordnungszustand mit fließorientierten Molekülketten entsteht. Es hat sich gezeigt, daß die Fließorientierung irreversibel ist und keiner Relaxation unterliegt.

[0020] Zu den im molekularen Bereich zu berücksichtigenden Vorgängen gehört auch die Scherung des thermoplastischen Materials beim Spritzgießprozeß und der dadurch bedingte thermische Abbau des thermoplastischen Materials.

[0021] Unter Scherung versteht man die innere Reibung des Materials während des Füllvorganges. Die innere Reibung entsteht durch den Geschwindigkeitsgradienten der plastifizierten Masse beim Fließen innerhalb des Angußkanals, der Anbindung und des Formnestes. Aufgrund der Adhäsion ist die Fließgeschwindigkeit an der Grenzfläche zwischen plastifizierter Spritzgießmasse und Angußkanalwand nahezu Null. Im Querschnittszentrum bewegt sich die plastifizierte Spritzgießmasse mit maximaler Geschwindigkeit. Die unterschiedlichen Geschwindigkeiten haben eine starke Reibung und damit Scherung der Kettenmoleküle zur Folge. Diese Reibung setzt eine beträchtliche Wärmemenge frei. Überschreitet die erzeugte Wärmemenge die Bindungsenergie z. B. der -C-C-Bindung, so wird das polymere Molekül abgebaut (gecrackt). Präzisionsoptische Teile zeigen dann eine starke Abweichung der optischen Parameter von den Sollwerten, wie z. B. Brechzahl und v-Wert (Abbe'sche Zahl). Die optischen Werte differieren über den Querschnitt des optischen Bauteiles, wodurch Schlieren entstehen, die unabhängig von der Fließorientierung und den Eigenspannungen sind.

[0022] Bei präzisionsmechanischen Teilen kommt es einerseits wegen der unterschiedlichen Dichte (Dichtegradient) zu einer Volumenänderung, die eine Verformung/Verwerfung des Bauteiles zur Folge hat und andererseits zu ei-

ner geringeren mechanischen Belastbarkeit. Die vom Hersteller des Spritzgießmaterials angegebenen mechanischen Daten sind nicht mehr oder nur noch eingeschränkt gültig.

[0023] Wenn die vorgegebene und am Spritzgießzyylinder eingestellte Temperatur zur Plastifizierung und Verarbeitung der thermoplastischen Spritzgießmasse weiter überschritten wird, kann das im ungünstigen Fall sogar zum Verbrennen des thermoplastischen Materials führen. Das äußert sich bei transparenten Teilen in einer Verfärbung des Materials. Bei präzisionsmechanischen, schwarz eingefärbten Teilen, bestehend aus einem amorphen Kunststoff, ist diese Schädigung nicht erkennbar. Lediglich die Bestimmung der dynamischen Lösemittelviskosität gibt hierüber Aufschluß. Bei einem schwarz eingefärbten, teilkristallinen Kunststoff wird der Kristallitschmelzpunkt des Granulates und des Spritzgießlings bestimmt und damit der Grad der Schädigung.

[0024] Aus den beschriebenen Zusammenhängen ergibt sich als Aufgabe für die Erfindung eine Spritzgießvorrichtung und ein zu ihrem Betrieb geeignetes Verfahren anzugeben, mit dem das Entstehen einer Spritzhaut vermieden, die Fließorientierung und die Scherung minimiert, die Adhäsion vermindert und die Einspritzgeschwindigkeit optimiert werden können.

[0025] Diese Aufgabe wird mit einer Spritzgießvorrichtung und einem Verfahren der eingangs genannten Art erfundungsgemäß durch die in den Ansprüchen 1 und 21 angegebenen kennzeichnenden Merkmale gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen ergeben sich aus den Merkmalen der Unteransprüche.

[0026] Die Erfindung geht dabei von Überlegungen aus, die im Gegensatz zu den bisher üblichen Grundsätzen stehen. Im Vordergrund steht derzeit eine möglichst hohe Fertigungsgeschwindigkeit mit stabilem Fertigungsablauf.

[0027] Kürzeste Taktzeiten sind dabei nur mit einem thermisch tragen Spritzgießwerkzeug und Minimalwerten für die Temperaturen der Spritzgießmasse und des Spritzgießwerkzeuges, sowie maximalen Füllgeschwindigkeiten zu erreichen. Eine rasche Entformung des Spritzgießlings ist nur zu erreichen, wenn die Temperatur des Spritzgießwerkzeuges bereits nahe der Entformungstemperatur des Spritzgießlings liegt.

[0028] Erfundungsgemäß gilt jedoch zur Vermeidung einer Spritzhaut, daß die in das Formnest eingebrachte plastifizierte Spritzgießmasse während des Einfließens in das Formnest und während des Abkühlens auf Entformungstemperatur keinen nennenswerten Temperaturgradienten aufbauen darf.

[0029] Das wird zum einen dadurch erreicht, daß während des Einfließens der Spritzgießmasse die Temperatur im Angußbereich und im Formnest zumindest nahezu gleich ist. Anzustreben sind jedoch gleiche Temperaturen. Zum anderen ist der Abkühlverlauf so einzustellen, daß die an der Grenzfläche zwischen plastifizierter Spritzgießmasse und Formnestwand abgeführt Wärmemenge jederzeit mit der aus dem Kernbereich des Spritzgießlings nachgeführten Wärmemenge gleich ist.

[0030] Diese Bedingungen treffen auch auf Spritzgießlinge aus einem teilkristallinen Kunststoff zu. Durch ein unterschiedliches Kristallitwachstum, hervorgerufen durch einen Temperaturgradienten, werden gravierende Dichte- und Volumenunterschiede zwischen dem Rand- und Mittenbereich aufgebaut und damit ein Spannungsgradient, der die mechanische Belastbarkeit und die Langzeitstabilität des Spritzgießlings deutlich vermindert.

[0031] Erreicht werden die erfundungsgemäßen Bedingungen bei der in der Vorrichtung verwendeten Spritzgießform dadurch, daß die Stahlmasse von Formoberteil und Formunterteil und den Formstempeln in Abhängigkeit von der me-

chanischen Festigkeit derart reduziert wird, daß die Wärmeträgheit ein an die Wärmebilanz des abzukühlenden Spritzgießlings angepaßtes rasches Abkühlen ermöglicht. Der Grundgedanke der Reduktion der Massen bei den Konstruktionselementen der Spritzgießform führt zu einem zusätzlichen Vorteil, der darin besteht, daß die Formober- und Formunterstempel sowie die Ummantelung des Formnestes als auswechselbare Teile im Formober- und Formunterteil ausgeführt werden können. Da bei der Herstellung von präzisionsoptischen und präzisionsmechanischen Spritzgießlingen die Anzahl der mit einer Spritzgießform hergestellten Teile geringer ist, kommt aus wirtschaftlichen Gründen einer möglichst vielseitigen Verwendbarkeit des Grundaufbaus der Spritzgießform eine besondere Bedeutung zu.

[0032] Die Wärmebilanz des Spritzgießlings kann entsprechend Materialart, Materialtyp, Volumen, Oberfläche und Geometrie mit bekannten Methoden ermittelt werden. Diese Wärmebilanz gilt als Grundlage für die Konstruktion der Spritzgießform. Die rechnerisch ermittelte Wärmemenge, die dem Spritzgießling bis zu der Entformung entzogen werden muß, dient auch als Grundlage für das zu erstellende Temperaturprogramm für den Abkühlvorgang. Die aus der Thermodynamik bekannten Größen, wie Wärmeleitfähigkeit, Wärmedurchgang, Wärmeübergang, spezifische Wärme sind von entscheidender Bedeutung für die Erstellung des Abkühl-Temperaturprogrammes, das die Entstehung einer Spritzhaut sicher vermeidet.

[0033] Als Kühlmittel können sowohl Flüssigkeiten, wie auch Gase verwendet werden. Geeignete Flüssigkeiten sind z. B. Wasser, Glyzerin, Wasser/Glyzerin-Mischungen, Polyglykole, Paraffine C₁₂ bis C₁₆, Phthalsäureester und Chlorparaffine. Als Gase sind insbesondere Luft, Stickstoff und Kohlendioxid geeignet.

[0034] Entscheidend für die Auswahl sind wiederum die Wärmebilanz des Spritzgießlings, die spezifische Wärme des Formnestmaterials und des Kühlmittels, denn die wirtschaftliche Fertigung zur Herstellung präzisionsoptischer und präzisionsmechanischer Bauteile erfordert ebenfalls nicht nur eine möglichst kurze Taktzeit, sondern auch einen geringen Kühlmitteldurchsatz. Vorzugsweise sind für die Ummantelung des Formnestes Bronzelegierungen zu verwenden, die bei geeigneter Festigkeit eine höhere Wärmeleitfähigkeit besitzen als entsprechende Stahllegierungen.

[0035] Der Verlauf der Temperierkanäle ist so anzutragen, daß sich ein Gegenstrom vom angusfernen zum angusnahen Teil des Formnestes einstellt.

[0036] Der das Formnest bildende Kopfteil des Formstempels zur Herstellung präzisionsoptischer Bauteile besteht vorzugsweise aus einem galvanisch dargestellten Nickel/Kupferreplika einer entsprechenden optischen Glasoberfläche. Die Materialdicke des Kupferreplikas muß aus Festigkeitsgründen an der dünnsten Stelle etwa 5 mm betragen, um Deformationen unter Spritzgießbedingungen zu vermeiden. Besteht der Träger der optischen Oberfläche aus einem hochlegierten Stahl, sollte die Rückseite Verrippungen enthalten, die durch ihre geometrische Gestaltung sicherstellen, daß der Wärmeübergang über die gesamte optische Oberfläche gleichmäßig vonstatten geht. Diese Forderung gilt auch für die Herstellung präzisionsmechanischer Bauteile.

[0037] Als Träger können auch speziell geformte Einsätze aus hoch wärmeleitendem Material, wie z. B. Kupfer oder Kupferlegierungen, vorgesehen sein. Die form- und temperaturschlüssig eingesetzten Formteile können so ausgebildet werden, daß sie in unmittelbarem Kontakt mit dem Temperiermittel stehen und eine an die Wärmebilanz angepaßte homogene Wärmeabführung ermöglichen.

[0038] Das Temperaturprogramm ist derart einzustellen,

daß die physikalisch bedingte Wärmeträgheit der nach der Minimierung der Spritzgießform noch verbleibenden Masse die Taktzeit nicht unnötig verlängert. Das wird dadurch erreicht, daß vor dem Ablauf des Kühlvorganges auf die Entformtemperatur des Spritzgießlings die Aufheizung der Spritzgießform im Bereich der Anbindung bereits wieder beginnt. Es sind somit mindestens zwei unabhängig voneinander steuer- bzw. regelbare Temperierkreise vorzusehen. Der erste Kreis verläuft in der bereits erwähnten Anbindung und der zweite Kreis umgibt das Formnest. Der obere Grenzwert der Temperatur beim Aufheizen des Formnestes soll das 1,3- bis 1,5-fache der Einfriertemperatur ET des thermoplastischen amorphen Werkstoffes betragen, um das Entstehen einer Spritzhaut zu vermeiden. Für Polymethylmethacrylat beträgt die ET ≈ 100°C und für Polycarbonat z. B. ist ET ≈ 140°.

[0039] Für teilkristalline thermoplastische Werkstoffe gilt das 1,1- bis 1,2-fache des Kristalltschmelzpunktes.

[0040] Um die Adhäsion des thermoplastischen Werkstoffes an der Oberfläche der Formstempel zu reduzieren, werden diese zweckmäßigerverweise mit einer Antihaftschicht versehen. Die Antihaftschicht besteht vorzugsweise aus einer im Plasmaverfahren aufgebrachten Diamantschicht mit einer Dicke von 100 bis 200 nm. Eine größere Schichtdicke muß vermieden werden, um den Wärmeübergang nicht unnötig zu mindern. Beim Entformen des Spritzgießlings werden wegen der Antihaftschicht dann keine nachteilig auf die Oberfläche einwirkenden mechanischen Kräfte ausgeübt. Zusätzlich werden im Bereich der Grenzfläche zwischen thermoplastischem Material und Formnestwand die Scherung und damit das Entstehen optisch wirksamer Inhomogenitäten minimiert.

[0041] Fließorientierungen sind im Spritzgießprozeß systembedingt nicht vollständig zu vermeiden. Sie können aber durch besondere Maßnahmen soweit reduziert werden, daß sie bei präzisionsoptischen Anforderungen nicht mehr störend in Erscheinung treten. Dazu ist zunächst darauf zu achten, daß keine turbulente Strömung innerhalb der plastifizierten Spritzgießmasse während des Formfüllvorganges auftritt. Die Formnestfüllung muß mit laminar fließender Masse erfolgen.

[0042] Besondere Beachtung muß der Geometrie des Angußkanals geschenkt werden. Für die Durchmesser im Angußkanal sind z. B. folgende Werte einzuhalten: Düsenseite D_{min} = 4 mm, Formnestseite D_{min} = 6 mm bei einer Länge des Angußkanals von L_{max} = 100 mm. Die daraus resultierende minimale Querschnittsfläche beträgt dann S_{min} = 28 mm². Dieser Wert darf im Bereich des Übergangs vom Angußkanal zum Formnest, der Anbindung, nicht unterschritten werden, damit die Fließorientierung vernachlässigbar gehalten werden kann.

[0043] Im Bereich des Übergangs in das Formnest sollen für den rechteckigen Querschnitt der Anbindung vorzugsweise folgende Werte für das Verhältnis V der Länge L zur Höhe H in Abhängigkeit von der Randhöhe H_R der zu formenden Optikteile gelten:

$$V_{L:H} = 2 : 1 \quad (L = 7,5 \text{ mm}, H = 3,75 \text{ mm})$$

für Optikteile mit einer Randhöhe H_R ≥ 5 mm

$$V_{L:H} = 3 : 1 \quad (L = 9,3 \text{ mm}, H = 3,10 \text{ mm})$$

für Optikteile mit einer Randhöhe H_R ≤ 5 mm

$$V_{L:H} = 4 : 1 \quad (L = 11 \text{ mm}, H = 2,55 \text{ mm})$$

für Optikteile mit einer Randhöhe H_R ≥ 3 mm

$$V_{L:H} = 12 : 1 \quad (L = 19 \text{ mm}, H = 1,50 \text{ mm})$$

für Optikteile mit einer Randhöhe H_R ≤ 3 mm, wobei eine Toleranz von ±10% zulässig ist.

[0044] Bei präzisionsmechanischen Teilen ist das Verhältnis V_{L:H} in Abhängigkeit von der Fließlänge s_L von der Anbindung bis zur anbindungsfernsten Stelle im Formnest zu

bestimmen. Dabei gilt:

$$V_L : H = 2 : 1 \text{ bei } s_L = 100 \text{ bis } 150 \text{ mm}$$

$$V_L : H = 3 : 1 \text{ bei } s_L = 60 \text{ bis } 100 \text{ mm}$$

$$V_L : H = 4 : 1 \text{ bei } s_L = 20 \text{ bis } 60 \text{ mm}$$

$$V_L : H = 12 : 1 \text{ bei } s_L \leq 20 \text{ mm}$$

[0045] Eine gegenüber herkömmlichen Verfahren völlig abweichende Verfahrensweise besteht auch bei der Behandlung des Volumenschwundes bei Abkühlung des Spritzgießlings. In der Spritzgießtechnik wird der beim Abkühlen der thermoplastischen Masse im Formnest von der Massetemperatur auf die Entformtemperatur auftretende Volumenschwund mit Hilfe eines "Nachdruckes" kompensiert. Es wird dabei in die schon teilweise abgekühlte Masse noch weiteres auf Massetemperatur befindliches Material unter erhöhtem Druck nachgeschoben.

[0046] Diese Methode hat selbstverständlich eine sehr hohe Fließorientierung und Eigenspannung im Angußbereich zur Folge. Zur Herstellung präzisionsoptischer und präzisionsmechanischer Teile ist eine solche Methode der Volumenschwund-Kompensation völlig ungeeignet.

[0047] Um die aus der Fließorientierung und Eigenspannung resultierenden Nachteile zu vermeiden, muß die Kompensation des Volumenschwundes drucklos erfolgen, d. h. es muß die Möglichkeit einer sogen. freien Schwindung geschaffen werden. Um das zu erreichen, darf das Material im Bereich der Anbindung auf keinen Fall "einfrieren", sondern muß auf derselben Temperatur gehalten werden, wie im Formnest. Dann kann das im Formnest abkühlende Material entsprechend der Volumenänderung selbsttätig Material aus dem Angußbereich nachziehen, der damit als Materialdepot dient. Die Temperaturre Programme für den Angußkanal mit der Anbindung und für das Formnest müssen synchron verlaufen. Diese Forderung setzt eine mit hoher Reproduzierbarkeit arbeitende Regelung der einzelnen Temperierkreisläufe voraus. Aufgrund der kontinuierlichen Abkühlung entfällt auch die sogenannte Nachschwindung des Spritzgießlings nach der Ausformung. Diese in der Spritzgießtechnik bekannte Nachschwindung entsteht üblicherweise durch spätere Relaxation mechanischer Spannungen und führt zu der bereits erläuterten Geometrieveränderung in der Form des Spritzgießlings.

[0048] Als Ursache der Scherung kommen mehrere Einflußgrößen in Betracht, die dann auch für die Minimierung dieses Effektes beachtet werden müssen. Es sind dies eine zu niedrige Temperatur der Spritzgießmasse, ein zu hoher Rauhtiefewert der Oberfläche im Angußkanal, eine hohe Adhäsion des polymeren Materials an der Oberfläche des Angußkanals, eine zu hohe Einspritzgeschwindigkeit bzw. ein zu hoher Einspritzdruck und ein zu kleiner Querschnitt im Bereich der Anbindung.

[0049] Erfindungsgemäß ist grundsätzlich die vom Hersteller angegebene höchste Temperatur für die Spritzgießmasse zu wählen. Damit werden die Verarbeitungsviskosität und die Scherung minimiert.

[0050] Die Rauhtiefe der Oberfläche des Angußkanals muß zwischen $R_a = 0,16$ bis $0,25 \mu\text{m}$ liegen. Die bisher übliche Rauhtiefe im Angußkanal liegt bei ca. 3 bis $8 \mu\text{m}$. Eine solche Rauhtiefe begünstigt sowohl das "Verkrallen" als auch die "Verwirbelung" der polymeren Masse an der Oberfläche des Angußkanals und bewirkt somit eine zusätzliche schädliche Scherung.

[0051] Die durch Adhäsion bewirkte Scherung an der Oberfläche des Angußkanals kann ebenfalls durch eine Anhaftschicht verhindert werden. Überraschenderweise zeigen Antihätschichten aus Siloxan oder perfluoriertem Polyethylen bei üblichen Schichtdicken von ca. $0,1 \text{ mm}$ bei Raumtemperatur eine wesentlich geringere Adhäsion als bei der Verarbeitungstemperatur der thermoplastischen Spritz-

gießmasse, so daß die Beschichtung zwar für die Entformung günstig, für die Füllung des Formnestes aber ungünstig erscheint. Durch Versuche konnte jedoch ermittelt werden, daß geringere Schichtdicken von 500 bis 100 nm eine deutliche Verminderung der Adhäsion auch bei der Fülltemperatur zeigen. Für eine Minimierung der Adhäsion sind daher bei Siloxan und perfluoriertem Polyethylen Schichtdicken von 100 bis 500 nm zu wählen. Bei Diamantschichten hat sich eine Dicke von etwa 100 nm bewährt.

- [0052] Die Optimierung der Werte für die Einspritzgeschwindigkeit bzw. die Einspritzdrucke kann nur empirisch erreicht werden. Die bisher üblichen Einspritzgeschwindigkeiten liegen in dem Bereich von $v = 0,05$ bis 20 m/s . Der diesem Geschwindigkeitsbereich zugrundeliegende Einspritzdruck liegt in dem Druckbereich von $p = 10$ bis 800 bar. Es ist davon auszugehen, daß bei der geringen Einspritzgeschwindigkeit mit Sicherheit eine laminare, bei der hohen Einspritzgeschwindigkeit aber eine turbulente Strömung vorliegt. Bei welcher Einspritzgeschwindigkeit die gewünschte laminare in die schädliche turbulente Strömung übergeht, wird von folgenden Parametern maßgeblich bestimmt:

- Molekulargewicht des Polymeren
- Temperatur der Spritzgießmasse
- Strukturviskosität der Schmelze
- Schergeschwindigkeitsgefälle in der Schmelze
- Kompressibilität der Schmelze
- Viskoelastisches Verhalten der Schmelze
- Querschnitt und Oberflächenbeschaffenheit des Angußkanals und der Anbindung
- Anzahl und Art der Umlenkungen auf dem Weg von der Düse bis zum Formnest
- Temperaturverlauf der Schmelze auf dem Weg von der Düse bis zum Formnest
- Volumen-/Oberflächenverhältnis des Spritzgießlings
- Rand-/Mittendicken-Verhältnis des Spritzgießlings

[0053] Unter Berücksichtigung und Einhaltung aller bereits erläuterten Optimierungsparameter zur Vermeidung der Spritzhaut, der Fließorientierung, des Ausgleiches des Volumenschwundes, der Minimierung der Scherung und der Verminderung der Adhäsion sind zur Ermittlung der optimalen Einspritzgeschwindigkeit Formfüllversuche mit in $0,5 \text{ m/s}$ -Intervallen abgestuften Einspritzgeschwindigkeiten und nur $1/3$ Füllung des Formnestes durchzuführen. Das Temperaturre Programm ist entsprechend einer vollständigen Füllung des Formnestes einzustellen. Prüfkriterium ist der polarisationsoptisch gemessene Gangunterschied im Angußbereich des Test-Spritzgießlings. Für präzisionsoptische Teile gilt: Maximal zulässiger Gangunterschied $\Gamma_{zul} \leq 20 \text{ nm}$. Für präzisionsmechanische Teile gilt: Maximal zulässiger Gangunterschied $\Gamma_{zul} \leq \lambda/4 \leq 136 \text{ nm}$.

[0054] Die optimale Einspritzgeschwindigkeit für die vollständige Füllung des Formnestes ist diejenige, die um ein $0,5 \text{ m/s}$ -Intervall unter der für den Test-Spritzgießling ermittelten Einspritzgeschwindigkeit mit dem zulässigen Gangunterschied liegt.

[0055] Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines in der Zeichnung schematisch dargestellten Ausführungsbeispiele beschrieben. Dabei zeigen:

[0056] Fig. 1 einen Querschnitt durch eine Spritzgießform und

[0057] Fig. 2a-2d Querschnitte durch verschiedene Formstempel

[0058] Die Spritzgießform 1 besteht aus einem Formober-

teil 2 und einem Formunterteil 3, in die jeweils zwei Formoberstempel 4, 5 und Formunterstempel 6, 7 eingefügt sind. Die Kopfteile 8, 9 der Formoberstempel 4, 5 und die Kopfalte 10, 11 der Formunterstempel 6, 7 werden formschlüssig jeweils im Formoberteil 2 und im Formunterteil 3 gehalten. Im Ausführungsbeispiel ist dieser Bereich jeweils als auswechselbarer Einsatz 12, 13 und 14, 15 ausgebildet, der in formschlüssigem Kontakt zum Formoberteil 2 und Formunterteil 3, sowie den Formstempeln 4, 5; 6, 7 steht. In die Einsatzte 12, 13; 14, 15 ist jeweils ein im Querschnitt vorzugsweise runder Angußkanal 16, 17 eingearbeitet. Als Material für die Einsatzte 12, 13; 14, 15 ist vorzugsweise eine Messingbronze vorgesehen, in dem die aus Stahl gefertigten Formstempelschäfte mit guten Notlaufeigenschaften gleiten können.

[0059] Das Formoberteil 2 und Formunterteil 3 weisen jeweils Basisplatten 18, 19 auf, an denen die Fußteile der Formoberstempel 4, 5 und der Formunterstempel 6, 7 befestigt sind. Das Formoberteil 2 ist senkrecht zur Basisplatte 18 verschiebbar gelagert. Dadurch sind das Formoberteil 2 und das Formunterteil 3 entlang einer Trennfläche 20 von einander lösbar. Um eine zueinander zentrierte Kontaktanordnung des Formoberteiles 2 und des Formunterteiles 3 zueinander zu erreichen, sind die auswechselbaren Einsatzte 12, 13; 14, 15 auf ihren Kontaktflächen mit Zentrierrändern 21, 22 versehen. Da die Angußkanäle 16, 17 in der Trennfläche 20 liegen, können sie in ihrer Form, dem Verlauf und der Oberflächenbeschaffenheit gut bearbeitet werden.

[0060] Die auswechselbaren Einsatzte 12, 13; 14, 15 und die Kopfflächen der Formoberstempel 4, 5 und Formunterstempel 6, 7 bilden Formnest 23, 24, die mit den Angußkanälen 16, 17 über Anbindungen 25, 26 mit vorzugsweise rechteckigem Querschnitt verbunden sind. In die Angußkanäle 16, 17 wird über eine Düse 27 aus einem Zuführkanal 28 plastifizierte Kunststoffmasse eingespritzt. Der Zuführkanal 28 kann dabei über ein Heizband 29 auf der dafür notwendigen Temperatur gehalten werden. Die Vorrichtung zum Einfüllen und Aufbereiten des Kunststoffgranulats, sowie der Druckzylinder sind nicht dargestellt. Sie entsprechen herkömmlicher Technologie.

[0061] Das Formoberteil 2 und das Formunterteil 3 sind mit Temperier-Kanälen 30, 31 versehen, die in der Querschnittsdarstellung jeweils als offene Kreise dargestellt sind. Die Kanäle 30, 31 können zu einem in sich geschlossenen System zusammengefaßt sein. Es ist jedoch vorteilhaft, sie als getrennte Systeme auszubilden, die wahlweise auch getrennt in der Temperatur geregelt werden können. Das Kanalsystem ist so gelegt, daß eine schnelle und gleichmäßige Temperierung der Einsatzte 12, 13; 14, 15 mit den Angußkanälen 16, 17 und den Anbindungen 25, 26 möglich ist.

[0062] Entlang der Längsachse der Formoberstempel 4, 5 und Formunterstempel 6, 7 sind ebenfalls Temperier-Kanäle 32, 33 eingearbeitet, die über zugehörige Versorgungsanäle in den Basisplatten 18, 19 versorgt werden. Innerhalb der Formstempel 4, 5; 6, 7 werden die Temperier-Kanäle durch Trennbleche 34, 35 in einer Bohrung gebildet. Die Umlenkung des Temperiermittels erfolgt im Kopfteil der Formstempel. Über die Ausrichtung der Trennbleche 34, 35 und den Zu- oder Abfluß kann die durch Pfeils angegedeutete Fließrichtung des Temperiermittels im Kopfteil relativ zur Fließrichtung der in die Formnest 23, 24 eingespritzten Kunststoffmasse gesteuert werden. Auch hier können die Kanäle 32, 33 zu einem in sich geschlossenen System zusammengefaßt werden. Mit Vorteil kann aber auch für jeden Formstempel ein eigenes Temperiersystem gebildet werden, wobei sogar für den Formoberstempel und den Formunterstempel getrennte Kanalsysteme vorgesehen sein können.

[0063] Jeder Formstempel kann auf seiner äußeren Man-

telfläche mit einer zusätzlichen, z. B. mit Strom beheizbaren, Temperier-Einrichtung 36, 37, 38, 39 versehen sein. Bei einem in sich geschlossenen Temperier-Kanal-System 32, 33 kann auf diese Weise eine individuelle Beeinflussung der

Temperatur an jedem der Formstempel 4, 5; 6, 7 realisiert werden. Das ist insbesondere beim Aufheizvorgang vorteilhaft, um nach der Entformung möglichst schnell auf gleiche Temperaturen zwischen Formnest und Anbindungsbereich kommen zu können.

[0064] Die Temperiermittel-Aufbereitung, die zugehörigen Pumpen, Mischer und Anschlüsse an die Spritzgießform sind nicht dargestellt, da sie herkömmlicher Technologie entsprechen.

[0065] Die Basisplatten 18, 19 und die mit den Temperier-Kanälen 30, 31 versehenen Elemente des Formoberteils 2 und des Formunterteils 3 sind aus Stahl gefertigt. Für die Einsatzte 12, 13; 14, 15 kann eine Bronzelegierung vorgesehen sein, die neben einer guten Wärmeleitfähigkeit auf gute Notlaufeigenschaften für die eingesetzten Formstempel besitzt. Die Dimensionierung der Elemente des Formoberteils 2 und des Formunterteils 3 ist mit dem Ziel einer Massenduzierung so gewählt, daß sich die Spritzgießform beim Spritzbetrieb nicht verformt und eine ausreichende Temperierung aller Bauteile gewährleistet ist.

[0066] Die Durchmesser der Schäfte der Formstempel können so gewählt werden, daß sich eine Kopffläche für einen maximalen Durchmesser der Spritzgießlinge darstellen läßt. In Verbindung mit daran angepaßten Einsatzten können dann auch Formstempel mit Kopfsteinen für Spritzgießlinge mit einem kleineren Durchmesser in die Spritzgießform eingesetzt werden. Ein Grundkörper der Spritzgießform kann auf diese Weise mit einer Vielzahl unterschiedlicher Formstempel/Einsätze-Kombinationen bestückt werden. Insbesondere sind auch Formstempel für präzisionsmechanische Bauteile einsetzbar.

[0067] Die zum Formnest weisende Kopffläche der Formstempel 4, 5; 6, 7 muß mit besonderer Sorgfalt hergestellt werden, da durch sie die geometrische Form der Oberfläche des Spritzgießlings bestimmt wird. Dazu sind verschiedene Methoden bekannt.

[0068] In Fig. 2a) ist ein Formstempel 6 dargestellt, der aus Stahl gefertigt ist. Der Schaft ist bis an die Grenze der erforderlichen mechanischen Stabilität aufgebohrt. Anstelle der in Fig. 1 dargestellten Temperier-Kanäle kann hier z. B. ein spiralförmig gewickeltes Durchflußrohr mit Wandkontakt eingesetzt werden. Kopfseitig ist im zentralen Bereich eine rippenförmige Verdickung 40 vorgesehen. Der Temperaturübergangs-Widerstand ist an dieser Stelle gegenüber den Flächenrandbereichen verändert. Die Kopffläche des Formstempels ist mit einer Glasemailleschicht 41 belegt. In gleicher Weise kann auch noch eine Antihafschicht aufgebracht werden.

[0069] Fig. 2b) zeigt einen ähnlichen Formstempel, bei dem auf die Kopffläche jedoch eine Glaskeramik-Kappe 42 aufgesetzt ist. Die Kappe wird mit in den Schaft eingreifenden Spangen 43 gehalten. Die Oberfläche der Glaskeramik-Kappe 42 kann mit üblichen optischen Bearbeitungsverfahren, wie Schleifen und Polieren, auf die gewünschte Form gebracht werden.

[0070] Fig. 2c) zeigt einen Formstempel, bei dem im Kopfteil ein Formteil 44 mit einem besonders guten Wärmeleitwert eingearbeitet ist. Dazu kann zunächst ein dem Formteil 44 entsprechender Hohlraum, z. B. durch Funksintering, in das Kopfteil eingearbeitet und danach das Formteil eingepreßt werden. Das Formteil 44 hat danach unmittelbaren Kontakt zum Temperiermittel, das durch die Längsbohrung fließt, wie in Fig. 1 dargestellt ist. Das Formteil kann aber auch als separates Bauteil angefertigt und von der

Kopfseite her in den Formstempel eingesetzt werden. Die Kopffläche kann danach wieder mit einer einheitlichen Beschichtung versehen werden. Die Gestaltung des Formteiles ist so gewählt, daß sich von der Kopffläche des Formstempels bis zum Temperiermittel unterschiedliche Dicken und damit unterschiedliche Temperaturleitwerte ergeben. Diese sind dem Temperaturfluß aus dem Formnest heraus angepaßt, um einen möglichst homogenen Temperaturfluß erreichen zu können.

[0071] In Fig. 2d) ist das Kopfteil mit einem Hohlraum 45 versehen, der von dem Temperiermittel durchspült werden kann. Durch Funkenerosion kann der Hohlraum nahezu über die gesamte Rückfläche des zum Formnest weisenden Kopfes des Formstempels ausgedehnt werden, solange die mechanische Festigkeit des Formstempels nicht beeinträchtigt wird. Durch entsprechende Steuerung der Temperatur des Temperiermittels kann sehr schnell die erforderliche Temperatur im Formnest aufgebaut werden. Wesentlich ist die Vermeidung einer schockartigen Abkühlung der plastifizierten Kunststoffmasse am Kopfteil des Formstempels. Der Formstempel ist so zu gestalten, daß möglichst schnell die Temperaturdifferenz zur einzuspritzenden Kunststoffmasse möglichst klein wird und danach die Temperatur in Abhängigkeit vom Temperaturfluß aus dem Spritzgießling herausgeregelt werden kann.

[0072] Die Kopffläche des aus Stahl gefertigten Formstempels 6 kann z. B. chemisch vernickelt werden, wobei die Schichtdicke ca. 5 mm beträgt. Eine solche Schicht weist eine sehr hohe Homogenität auf. Durch Diamantdrehen läßt sich eine Oberflächen-Rauhtiefe von maximal 5 bis 25 10 nm erreichen.

Bezugszeichenliste

1 Spritzgießform	35
2 Formoberteil	
3 Formunterteil	
4, 5 Formoberstempel	
6, 7 Formunterstempel	
8, 9 Kopfteile Formoberstempel	40
10, 11 Kopfteile Formunterstempel	
12, 13; 14, 15 Einsätze	
16, 17 Angußkanal	
18, 19 Basisplatten	
20 Trennfläche	45
21, 22 Zentrierränder	
23, 24 Formnester	
25, 26 Anbindungen	
27 Düse	
28 Zuführkanal	
29 Heizband	50
30, 31 Temperierkanäle Formober/-unterteil	
32, 33 Temperierkanäle Formober/-unterstempel	
34, 35 Trennbleche	
36, 37; 38, 39 Temperiereinrichtung Formober/-unterstempel	55
40 rippenförmige Verdickung	
41 Glasemaille-Beschichtung	
42 Glaskeramik-Kappe	
43 Spange	60
44 Formteil	
45 Hohlraum	

Patentansprüche

1. Spritzgießvorrichtung zur Herstellung präzisions-optischer und präzisionsmechanischer Teile aus einem thermoplastischen Kunststoff in einer Spritzgießform

(1) mit einem voneinander trennbaren Formoberteil (2) und Formunterteil (3) zur Begrenzung eines Formnestes (23; 24), sowie einer eine plastifizierbare Spritzgießmasse in das Formnest (23; 24) leitenden Anbindung (25; 26) und einem mit der Anbindung (25; 26) verbundenen Angußkanal (16; 17) für die unter Druck stehende Spritzgießmasse, wobei das Temperaturprofil im Angußkanal (16; 17) regelbar ist und die Spritzgießvorrichtung ein Temperier-System zur Versorgung mehrerer Temperierkanäle in der Spritzgießvorrichtung mit unabhängig voneinander temperatur-geregelten und/oder -gesteuerten Temperiermitteln aufweist, dadurch gekennzeichnet, daß in das Formoberteil (2) und das Formunterteil (3) Formoberstempel (4; 5) und Formunterstempel (6; 7) zur oberen und unteren Begrenzung des Formnestes (23; 24) eingesetzt sind, wobei die Formober- und Formunterstempel (4; 5; 6; 7) nur mit ihrem Kopfende (8; 9; 10; 11) und Fußende in form- und wärmedämmendem Kontakt mit dem Formoberteil (2) und Formunterteil (3) stehen und in den Formober- und Formunterstempeln (4; 5; 6; 7) jeweils ein Temperierkanal (32; 33) zur Temperierung des Kopfendes (8; 9; 10; 11) so angeordnet ist, daß der Zu- und Abfluß der Temperierkanäle (32; 33) in Richtung der Längsachse der Formober- und Formunterstempel (4; 5; 6; 7) verläuft und die Umkehr der Fließrichtung des Temperiermittels am Kopfende (8; 9; 10; 11) und möglichst nahe zum Formnest (23; 24) erfolgt.

2. Spritzgießvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest im Bereich der Umkehr der Fließrichtung des Temperiermittels die Formober- und Formunterstempel ein Material mit hoher Wärmeleitfähigkeit aufweisen.

3. Spritzgießvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Kopfende der Formober- und Formunterstempel Segmente (40) unterschiedlicher Wärmeleitfähigkeit aufweist.

4. Spritzgießvorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß ein Formteil (44) aus einem Material mit hoher Wärmeleitfähigkeit, wie z. B. Kupfer oder eine Kupferlegierung, in das Kopfende der Formober- und Formunterstempel mit direktem Kontakt zum Temperiermittel eingepaßt ist.

5. Spritzgießvorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die zum Formnest weisende Fläche des Formteiles möglichst groß ist.

6. Spritzgießvorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Formteil in Richtung auf das Formnest so gestaltet ist, daß sich für die Wärmeabführung aus unterschiedlichen Bereichen des Formnestes unterschiedliche Wärmeübergangswerte in der Weise ergeben, daß zu allen Zeiten über die gesamte Grenzfläche zum Formnest eine homogene Temperaturverteilung vorhanden ist.

7. Spritzgießvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Fließrichtung des Temperiermittels quer zur Längsachse der Formober- und Formunterstempel gegenläufig zur Fließrichtung der in das Formnest einfließenden plastifizierten Spritzgießmasse ist.

8. Spritzgießvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die gegenüber dem Formober- und Formunterteil (2, 3) frei stehende äußere Mantelfläche der Formober- und Formunterstempel (4; 5; 6; 7) mit mindestens einer weiteren, unabhängig steuer- und/oder regelbaren Temperiereinrichtung (36, 37; 38, 39) versehen ist.

9. Spritzgießvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch

- gekennzeichnet, daß die das Formnest (23, 24) bildenden Flächen des Formober- und Formunterstempels mit einer Antihaftschicht versehen sind.
10. Spritzgießvorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Antihaftschicht aus Siloxan oder einem perfluorierten Polyethylen in einer Schichtdicke von etwa $d = 0,1$ mm, vorzugsweise $d = 100$ bis 500 nm, besteht.
11. Spritzgießvorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Antihaftschicht aus einer im Plasmaverfahren aufgebrachten Diamantschicht besteht.
12. Spritzgießvorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Schichtdicke der Diamantschicht $d = 100$ bis 200 nm beträgt.
13. Spritzgießvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Innenwandungen des Angußkanals (16, 17) eine Rauhtiefe $R_t = 0,16$ bis 0,25 μm aufweisen.
14. Spritzgießvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Angußkanal (16, 17) im Bereich des Übergangs in das Formnest geradlinig ausgebildet ist.
15. Spritzgießvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß bei Fließrichtungsänderungen im Angußkanal (16, 17) die Umlenkungen verrundet sind.
16. Spritzgießvorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Verrundung einen Innenradius von etwa $R_i = 8$ mm aufweist.
17. Spritzgießvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die maximale Länge des Angußkanals etwa $L_{\max} = 100$ mm und der minimale Durchmesser am Übergang zum Formnest etwa $D_{\min} = 6$ mm beträgt.
18. Spritzgießvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der minimale Querschnitt des Angußkanals etwa $S_{\min} = 28 \text{ mm}^2$ beträgt.
19. Spritzgießvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der kreisförmige Querschnitt des Angußkanals in einen rechteckigen Querschnitt der Anbindung übergeht, für den bei präzisionsoptischen Teilen das Verhältnis $V_L : H$ der Länge L zur Höhe H in Abhängigkeit von der Randhöhe H_R des darzustellenden Optikteiles folgende Werte mit einer Toleranz von $\pm 10\%$ annimmt:
- $V_L : H = 2 : 1$ bei $H_R \geq 5$ mm
- $V_L : H = 3 : 1$ bei $H_R \leq 5$ mm
- $V_L : H = 4 : 1$ bei $H_R \geq 3$ mm
- $V_L : H = 12 : 1$ bei $H_R \leq 3$ mm
- und bei präzisionsmechanischen Teilen das Verhältnis $V_L : H$ der Länge L zur Höhe H in Abhängigkeit von der Fließweglänge s_L von der Anbindung bis zur anbindungsfernsten Stelle im Formnest folgende Werte annimmt:
- $V_L : H = 2 : 1$ bei $s_L = 100$ bis 150 mm
- $V_L : H = 3 : 1$ bei $s_L = 60$ bis 100 mm
- $V_L : H = 4 : 1$ bei $s_L = 20$ bis 60 mm
- $V_L : H = 12 : 1$ bei $s_L \leq 20$ mm
20. Spritzgießvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der die Anbindung (25, 26) enthaltende Bereich des Formober- und Formunterteiles (2, 3) und/oder die Formober- und Formunterstempel (4, 5; 6, 7) als auswechselbare Einsätze (12, 13; 14, 15) ausgebildet sind.
21. Verfahren zur Herstellung präzisionsoptischer und präzisionsmechanischer Teile aus einem thermoplastischen Kunststoff mit einer Spritzgießvorrichtung enthaltend eine Spritzgießform (1) mit einem voneinander

- trennbaren Formoberteil (2) und Formunterteil (3) mit jeweils eingesetzten Formober- und Formunterstempeln zur Begrenzung eines Formnestes (23; 24), sowie einer eine plastifizierbare Spritzgießmasse in das Formnest (23; 24) leitenden Anbindung (25; 26) und einem mit der Anbindung (25; 26) verbundenen Angußkanal (16; 17) für die unter Druck stehende Spritzgießmasse, wobei das Temperaturprofil im Angußkanal (16; 17) Regelbar ist und die Spritzgießvorrichtung ein Temperier-System zur Versorgung mehrerer Temperierkanäle in der Spritzgießvorrichtung mit unabhängig voneinander temperatur-geregelten und/oder -gesteuerten Temperiermitteln aufweist, dadurch gekennzeichnet, daß das Formoberteil (2) und das Formunterteil (3) im Bereich der Anbindung (25; 26) und das Kopfende (8; 9; 10; 11) der Formober- und Formunterstempel (4; 5; 6; 7) zum Einfüllen der Spritzgießmasse auf nahezu die gleiche Temperatur eingestellt werden und danach die über die Temperiermittel abgeföhrte Wärmemenge auf die jeweils vom Formnest und der Anbindung abgegebene Wärmemenge abgestimmt wird.
22. Verfahren nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß die eingestellte Temperatur der vom Hersteller des Kunststoffes angegebenen höchsten Masse-temperatur entspricht.
23. Verfahren nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß die eingestellte Temperatur bei amorphen thermoplastischen Kunststoffen dem 1,3- bis 1,5-fachen der Einfriertemperatur des Kunststoffes und bei teilkristallinen thermoplastischen Kunststoffen dem 1,1- bis 1,2-fachen des Kristallisations-schmelzpunktes entspricht.
24. Verfahren nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß nach Füllung des Formnestes der Fülldruck reduziert und die Temperatur des Formnestes und der Anbindung synchron auf die Entformungstemperatur des Kunststoffes heruntergeregt wird.
25. Verfahren nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Wärmekapazität der im Formnest enthaltenen Spritzgießmasse bestimmt und die Temperatursteuerung und/oder -regelung in den Temperier-Syste men unter Berücksichtigung der Wärmeleitfähigkeit, Wärmedurchgangszahl, Wärmeübergangszahl der Spritzgießmasse und der Formnestwandung in der Weise durchgeführt wird, daß zu jeder Zeit ein stetiges Temperaturprofil vom Zentrum des Formnestes bis zum Temperiermittel entsteht.
26. Verfahren nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß der Fülldruck für die optimale Fließgeschwindigkeit der plastifizierten Spritzgießmasse im Angußkanal, der Anbindung und im Formnest durch Testfüllungen ermittelt wird, bei denen das Formnest nur zu etwa 1/3 gefüllt und das damit erzeugte Testteil im Angußbereich der Anbindung polarisationsoptisch geprüft wird.
27. Verfahren nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, daß als Kriterium für die optimale Fließgeschwindigkeit zur Herstellung präzisionsoptischer Teile ein polarisationsoptisch gemessener Gangunterschied von $\Gamma \leq 20$ nm im Angußbereich/Anbindung gilt.
28. Verfahren nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, daß als Kriterium für die optimale Fließgeschwindigkeit zur Herstellung präzisionsmechanischer Teile ein polarisationsoptisch gemessener Gangunterschied von $\Gamma \leq 100$ nm im Angußbereich/Anbindung gilt.
29. Verfahren nach Anspruch 25, dadurch gekenn-

15

zeichnet, daß der Fülldruck für die vollständige Füllung des Formnestes etwas geringer gewählt wird als der am Testteil ermittelte Fülldruck bei optimaler Fließgeschwindigkeit.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

